

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **10579**

(13) **U**

(46) **2015.02.28**

(51) МПК

F 24D 11/00 (2006.01)

F 24D 21/00 (2006.01)

(54)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СВАЯ

(21) Номер заявки: u 20140289

(22) 2014.08.06

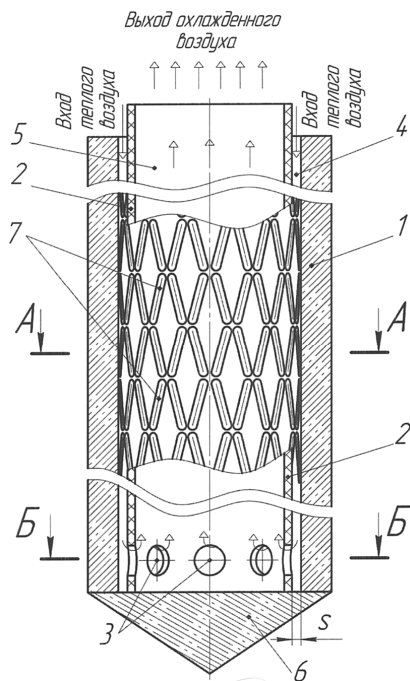
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный тех-
нологический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Филатов Святослав Олегович;
Кунтыш Владимир Борисович; Воло-
дин Виктор Иванович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образо-
вания "Белорусский государственный
технологический университет" (ВУ)

(57)

Энергетическая свая, включающая вертикальную железобетонную трубу круглого поперечного сечения с газообразным теплоносителем и соосно расположенную на всю ее длину малотеплопроводную трубу с несколькими боковыми отверстиями в нижнем конце, **отличающаяся** тем, что на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы нанесены траншейные лунки с длиной цилиндрической части $l = (2-10)d$, развернутые на угол $\beta = 8-10^\circ$ по отношению к направлению потока воздуха, при этом глубина траншейных лунок не меньше толщины пограничного слоя воздуха в кольцевом канале, образованном внутренней поверхностью вертикальной железобетонной трубы и внешней поверхностью малотеплопроводной трубы, причем величина разрыва l_p между двумя траншейными лунками в направлении движения воздуха находится в интервале $l_p = (2-5)d$, где d - диаметр траншейной лунки, при этом плотность γ нанесенных траншейных лунок составляет 40-55 %.



Фиг. 1

(56)

1. Справочник по климату СССР / Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Упр. гидрометеорол. службы БССР, Минская гидрометеорол. обсерватория. Вып. 7: Белорусская ССР. Ч. 2. Температура воздуха и почвы, 1965. - С. 208-213.

2. Dibowski H.-G. Auf Basis umfangreicher Messdatensätzen numerisch und experimentell validierte Regeln zur Auslegung der LEWT: Dissertation... Doktoringenieur. - Kassel, 2003. - P. 1-3. [Electronic resource]. 2003. Mode of access: d-nb.info/969079702/34 Date of access: 11.10.2012.

3. Витязь И.П., Данилевский Л.Н., Кабашников В.П., Некрасов В.П. Математическая модель грунтового теплообменника для систем вентиляции // Тепломассообмен ММФ-2000. - 2000. - Т. 10. - С. 115-122.

4. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием тепловой энергии поверхностных слоев Земли. -М.: Издательский дом "Граница", 2006. - С. 13-17, 160.

5. Накорчевский А.И., Басок Б.И. Оптимальная конструкция грунтовых теплообменников // Пром. теплотехника, 2005. - Т. 27. - № 6. - С. 27-31.

6. Патент US 005816314A, МПК F 28D 21/00, 1998.

7. Патент US 20080289795A1, МПК F 24J 3/08, 2008.

8. Патент US 2011/0232795A1, МПК F 16L 9/00, 2011.

9. Гершкович В.Ф. Энергетические сваи // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. - № 8. - 2009. - С. 47-50.

10. СТБ 1075-97. Сваи железобетонные. Общие технические условия.

11. Патент BY 9186, МПК E 04D 5/22, F 24D 11/00, 2012 (прототип).

12. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. Институт технической теплофизики НАН Украины. - Киев, 2005. - 500 с.

13. Исаев С.А., Корнев Н.В., Харченко В.Б. Анализ смерчевой интенсификации теплообмена на облуненных стенках узких каналов. Тепловое проектирование. Труды Четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Т. 6. Дисперсные потоки и пористые среды. Интенсификация теплообмена. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - С. 226-229.

14. Баранов П.А., Исаев С.А., Ключева О.Г., Стернин Л.Е. Численное моделирование интенсификации теплообмена в трактах двигательных установок при нанесении на стенки одного продольного ряда сферических и траншейных лунок. Труды Четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Т. 6. Дисперсные потоки и пористые среды. Интенсификация теплообмена. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - С. 162-165.

15. Леонтьев А.И., Исаев С.А. Вихревая интенсификация тепло- и массообменных процессов с помощью луночных технологий (численное и физическое моделирование). Труды Пятой Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Т. 6. Интенсификация теплообмена. Радиационный и сложный теплообмен. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. - С. 102-105.

Полезная модель относится к конструкциям энергетических свай, работающих в системах с охлаждением или нагревом воздуха. В настоящее время для кондиционирования зданий практически повсеместно используются системы на основе компрессионного трансформатора теплоты типа воздух-воздух, которые обладают существенными недостатками: большие затраты электрической энергии на привод компрессора (20-50 % от тепловой мощности), что предполагает повышенные финансовые затраты на электроэнергию; возможные утечки хладагента, что негативно сказывается на экологической безопасности; сильная зависимость холодильной мощности от температуры атмосферного воздуха, под-

верженной существенным колебаниям как в течение суток, так и в годовом периоде, что негативно отражается на надежности работы системы; расположение части установки на фасаде здания, что увеличивает механическую нагрузку на стены и негативно сказывается на эстетичности зданий.

Одним из решений этих проблем является применение в системах кондиционирования грунтовых теплообменников. При этом для охлаждения воздуха используется способность грунта сохранять значительно меньшую температуру (6-8 °С для территории Республики Беларусь [1]) по сравнению с воздухом окружающей среды в жаркий период года.

Наибольшее распространение среди таких систем получили горизонтальные воздушные грунтовые теплообменники [2, 3], состоящие из уложенных в грунт труб, по которым движется воздух. Их недостаток - большая занимаемая площадь. Следовательно, их рациональное применение возможно лишь в индивидуальных домах с большим участком земли.

Более выигрышными по критерию занимаемой площади являются вертикальные грунтовые теплообменники с жидким теплоносителем, получившие большое распространение в теплонасосной технике [4]. В этом случае воздух подается не непосредственно в вертикальный грунтовой теплообменник, как это происходило в горизонтальных системах, а в газожидкостный теплообменник (либо теплообменник другого типа, например бетонные охлаждающие панели), который по стороне жидкого теплоносителя соединен в контур с вертикальным грунтовым теплообменником.

Наиболее распространенными типами вертикальных грунтовых теплообменников являются теплообменники с одной или несколькими U-образными трубами, а также коаксиальные теплообменники, состоящие из двух труб [4, 5]. Известны также вертикальные грунтовые теплообменники более сложной конфигурации: спиральные [6], коаксиальные теплообменники с каналами сложной формы [7, 8] при увеличенной площади поверхности теплообмена.

Главным ограничением на величину теплообменной поверхности, а соответственно, и на тепловой поток вертикальных грунтовых теплообменников таких типов является диаметр скважины, большая величина которого ограничена повышенными затратами на бурение. Оптимальным диапазоном диаметра скважины является 160-200 мм [4], а дальнейшее его увеличение приводит к неоправданно большим затратам на сооружение скважины.

Следующим направлением совершенствования вертикальных грунтовых теплообменников стало использование в строящихся зданиях энергетических свай с жидким теплоносителем [9], которые представляют собой строительные сваи с замоноличенными в них трубами, по которым прокачивается жидкий теплоноситель.

В этом случае по сравнению с обыкновенными вертикальными грунтовыми теплообменниками (U-образные [4, 5], коаксиальные [4, 5], змеевиковые [6], со сложной формой каналов [7, 8]) энергетические сваи с жидким теплоносителем обладают принципиальными отличиями: благодаря увеличенным диаметрам свай (например, 1000-3000 мм для свай марки СО, 400-800 мм для свай марки СКП [10]) можно достичь большей поверхности теплообмена, а соответственно, больших тепловых потоков в грунтовой теплообменнике; из-за того что затраты на создание скважин под строительные сваи входят в стоимость строительства здания, эти затраты можно исключить из капитальных затрат на создание скважины непосредственно под вертикальный грунтовой теплообменник.

Недостатками систем с вертикальными грунтовыми теплообменниками и энергетическими сваями с жидким теплоносителем являются: риск возникновения утечек теплоносителя в грунтовой массив, а следовательно, и повышенные требования к герметичности системы; дорогостоящий теплоноситель; наличие дополнительного теплообменника для осуществления переноса теплоты между промежуточным жидким теплоносителем и ох-

лаждаемым воздухом (высокие капитальные затраты, существенные затраты электроэнергии на прокачку воздуха по тракту газожидкостного теплообменника).

Проблемы риска возникновения утечек жидкого теплоносителя, затрат на его первоначальную покупку и восполнения утечек, затрат на дополнительные теплообменники решаются при использовании в качестве грунтового теплообменника энергетической сваи с теплоносителем - воздухом, предложенной в патенте [11], которая принимается в качестве прототипа. Такая энергетическая свая представляет собой полую строительную сваю в виде вертикальной железобетонной трубы с соосно расположенной в ней центральной трубой с отверстиями в нижнем конце. Внутренней поверхностью вертикальной железобетонной трубы и наружной поверхностью центральной трубы создается канал кольцевого сечения, по которому движется охлаждаемый воздух. Охлаждение воздуха обеспечивается за счет более холодной поверхности железобетонной трубы и прилегающего к ней грунта.

Увеличение теплового потока в энергетической свае с теплоносителем - воздухом происходит с ростом коэффициента теплоотдачи, который обеспечивается повышением скорости движения воздуха в кольцевом канале за счет уменьшения его ширины, то есть площади проходного сечения. Но с ростом скорости движения воздуха резко увеличиваются аэродинамические потери, что приводит к возрастанию затрат на прокачку воздуха с опережением роста теплоотдачи. В этом случае при низких затратах энергии на прокачку воздуха в прототипе невозможно достичь высоких значений коэффициента теплоотдачи со стороны охлаждаемого воздуха, а соответственно, и высоких тепловых потоков на единицу длины энергетической сваи. Иными словами, недостатками прототипа являются низкая тепловая эффективность, которая выражается в опережающем росте затрат на прокачку воздуха по сравнению с ростом теплоотдачи, а также невысокий передаваемый тепловой поток, величина которого ограничивается низкими коэффициентами теплоотдачи со стороны охлаждаемого воздуха.

Задачей полезной модели является повышение тепловой эффективности и передаваемого теплового потока энергетической сваи с теплоносителем - воздухом.

Указанная задача решается тем, что энергетическая свая, включающая вертикальную железобетонную трубу круглого поперечного сечения с газообразным теплоносителем и соосно расположенную на всю ее длину малотеплопроводную трубу с несколькими боковыми отверстиями в нижнем конце, отличается тем, что на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы нанесены траншейные лунки с длиной цилиндрической части $l = (2-10)d$, развернутые на угол $\beta = 8-10^\circ$ по отношению к направлению потока воздуха, при этом глубина траншейных лунок не меньше толщины пограничного слоя воздуха в кольцевом канале, образованном внутренней поверхностью вертикальной железобетонной трубы и внешней поверхностью малотеплопроводной трубы, причем величина разрыва l_p между двумя траншейными лунками в направлении движения воздуха находится в интервале $l_p = (2-5)d$, где d - диаметр траншейной лунки, при этом плотность γ нанесенных траншейных лунок составляет 40-55 %.

Вертикальная железобетонная труба способна воспринимать механические нагрузки. Дополнительный элемент энергетической сваи в виде малотеплопроводной трубы, устанавливаемой соосно с вертикальной железобетонной трубой, служит для создания системы каналов, по которым движется поток газового теплоносителя - охлаждаемого воздуха. При этом процесс охлаждения протекает следующим образом. Воздух принудительно подается в образованный внутренней поверхностью вертикальной железобетонной трубы и наружной поверхностью малотеплопроводной трубы кольцевой канал, движется вниз, достигнув нижней точки кольцевого канала и пройдя в малотеплопроводную трубу через боковые отверстия в нижнем ее конце, поднимается вверх по малотеплопроводной трубе. За счет разности температур между движущимся в кольцевом канале воздухом и внутренней поверхностью вертикальной железобетонной трубы поток, проходя по кольцевому каналу, охлаждается. При движении вверх по малотеплопроводной трубе воздух частично

подогревается за счет более теплого воздуха в кольцевом канале. После энергетической сваи воздух направляется в систему вентиляции здания.

Так как в энергетической свае движение охлаждаемого воздуха происходит в узком кольцевом канале между вертикальной железобетонной трубой и малотеплопроводной трубой, то в случае применения способа вихревой интенсификации теплоотдачи можно достичь наибольшего [12] энергетического эффекта. Вихревая интенсификация реализуется нанесением на теплоотдающую внутреннюю поверхность вертикальной железобетонной трубы лунок, называемых иногда углублениями, выемками. Конструктивно они выполняются различной формы (сферической, полусферической, траншейной, овальной) и отличаются геометрическими параметрами. Лунки интенсифицируют теплоотдачу на внутренней теплообменной поверхности вертикальной железобетонной трубы.

Теплофизическая суть вихревой интенсификации теплоотдачи состоит в следующем. Лунки являются генераторами смерчеобразных вихрей как при ламинарном, так и при турбулентном режиме движения потока. Возникшие вихри сносятся из лунок в пограничный слой потока на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы, турбулизируют и разрушают его, что значительно увеличивает интенсивность теплоотдачи, при этом вихри не диффундируют в ядро потока и непрерывно остаются в пограничном слое, тем самым ограничивая опережающий темп роста аэродинамического сопротивления. Дополнительным фактором, препятствующим опережающему росту аэродинамического сопротивления, является то, что при нахождении вихрей в пограничном слое имеет место частичная замена трения скольжения трением качения, которое численно меньше [12]. Согласно данным работ [13-15], наибольшей теплогидравлической эффективностью обладают траншейные лунки. Конструктивно они представляют две разнесенные половинки сферической лунки, соединенные цилиндрической вставкой. Оптимальным расположением траншейных лунок является зигзагообразное. Такое расположение лунок с углом $\beta = 8-10^\circ$ по отношению к направлению потока воздуха вызывает попеременное изменение его движения в приповерхностном слое, что дополнительно интенсифицирует теплоотдачу.

При длине цилиндрической части траншейной лунки $l = (2-10)d$ возникает интенсивное вихреобразование [14], а чтобы поддерживать постоянное наличие вихрей в пограничном слое необходимо предусмотреть разрыв между траншейными лунками в направлении движения воздуха в интервале $l_p = (2-5)d$.

В случае этой компоновки траншейных лунок на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы вихри из предыдущей траншейной лунки на указанном пути движения затухают, но последующая траншейная лунка генерирует новые вихри, поступающие в пограничный слой, что обеспечивает непрерывную его турбулизацию и высокую интенсивность теплоотдачи. Выбранными значениями l и l_p фактически определилось значение продольного шага $S_{2л}$ их расположения. Известно [12], что в направлении, поперечном движению потока, вихри соседних углублений не вступают во взаимодействие. Однако интенсификация теплоотдачи зависит от значения плотности углублений на листе (по существу, это количество углублений). Наибольший эффект роста теплоотдачи достигается при значении плотности $\gamma = 40-55\%$, которая обеспечивает количество вихрей, воздействующих на весь пограничный слой. Исходя из этого устанавливается значение поперечного шага $S_{1л}$ расположения траншейных лунок, так как значение $S_{2л}$ уже выбрано. Совокупность принятых геометрических параметров траншейных лунок позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи воздуха в 2-3 раза при отстающем увеличении аэродинамического сопротивления, что энергетически оптимально.

Таким образом, в заявленной полезной модели отличительные признаки обеспечивают интенсификацию теплоотдачи на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы, то есть со стороны теплоносителя - воздуха, а это, в свою очередь, по сравнению с прототипом ведет к соответствующему увеличению теплового потока при неизменных значениях площади поверхности и температурной разности. При этом рост теплоотдачи

опережает рост аэродинамического сопротивления, следовательно, предлагаемая конструкция энергетической сваи по сравнению с прототипом обладает большей тепловой эффективностью.

Сформулированные в совокупности отличительные признаки позволили положительно решить задачу полезной модели.

Полезная модель поясняется фиг. 1-7.

На фиг. 1 показано продольное сечение энергетической сваи; на фиг. 2 дано поперечное сечение А-А основной части энергетической сваи с траншейными лунками, нанесенными на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы; на фиг. 3 дано поперечное сечение Б-Б энергетической сваи на уровне расположения боковых отверстий малотеплопроводной трубы; на фиг. 4 развернуто показан фрагмент внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы по виду В-В; на фиг. 5 показан фрагмент Г внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы; на фиг. 6 и 7 показаны сечения Д-Д и Е-Е фрагмента Г.

Энергетическая свая состоит из вертикальной железобетонной трубы круглого поперечного сечения 1. В ней на всю длину соосно установлена малотеплопроводная труба 2 с отверстиями 3 в нижнем конце. Благодаря соосному расположению трубы 2 в вертикальной железобетонной трубе 1 формируются каналы 4 и 5, сообщающиеся отверстиями 3. Ширина кольцевого канала 4 составляет s . Внизу энергетической сваи расположен накопчик 6. На внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы 1 содержатся траншейные лунки 7 диаметром d и длиной цилиндрической части 1 с зигзагообразным расположением, величина которого соответствует развороту каждой траншейной лунки на угол $\beta = 8-10^\circ$ по отношению к направлению потока воздуха. Длина цилиндрической части траншейных лунок $l = (2-10)d$. Разрыв l_p между траншейными лунками выравнивает давление потока по ширине. При плотности траншейных лунок $\gamma = 40-55\%$ увеличение теплоотдачи вихревой интенсификацией опережает прирост аэродинамического сопротивления воздуха. Траншейные лунки располагаются на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы с шагами $S_{1л}$ и $S_{2л}$, численное значение которых однозначно находится из назначенной величины плотности у траншейных лунок.

Энергетическая свая работает следующим образом. Теплый воздух принудительно подается в кольцевой канал 4, за счет того, что температура грунта, прилегающего к вертикальной железобетонной трубе 1 с внешней стороны, меньше температуры подаваемого в кольцевой канал 4 воздуха, происходит его охлаждение. Достигнув низа кольцевого канала 4, воздух через боковые отверстия 3 в нижнем конце малотеплопроводной трубы 2 переходит в нее, направляясь вверх по каналу 5.

При движении в кольцевом канале 4 охлаждаемый воздух движется вдоль внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы 1 с траншейными лунками 7, которые обеспечивают вихревую интенсификацию теплоотдачи. При реализации вихревой интенсификации гидродинамически обоснованными параметрами интенсификаторов, их формой и расположением на внутренней поверхности вертикальной железобетонной трубы 1 с учетом режима течения потока и ширины кольцевого канала s тепловая эффективность энергетической сваи увеличивается до 2,3-2,6 раза.

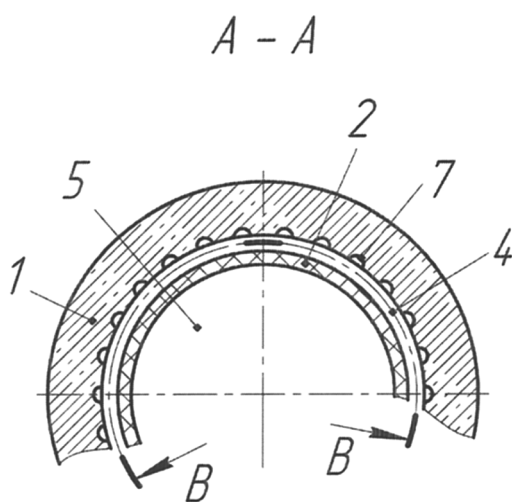
Расход воздуха необходимо принимать исходя из удельного теплосъема с единицы длины сваи $q = 1-80$ Вт/м в зависимости от теплофизических свойств прилегающего грунта. При заданном расходе воздуха ширину s канала 4 следует выбирать из условия скорости воздуха в нем в диапазоне $u = 1-15$ м/с во избежание больших аэродинамических потерь. Направление движения воздуха в энергетической свае может быть изменено на противоположное.

Представленная конструкция энергетической сваи по сравнению с прототипом за счет увеличенной теплоотдачи позволяет обеспечить повышенные тепловые потоки при неизменной площади теплоотдающей поверхности (а соответственно, и размерах энергетиче-

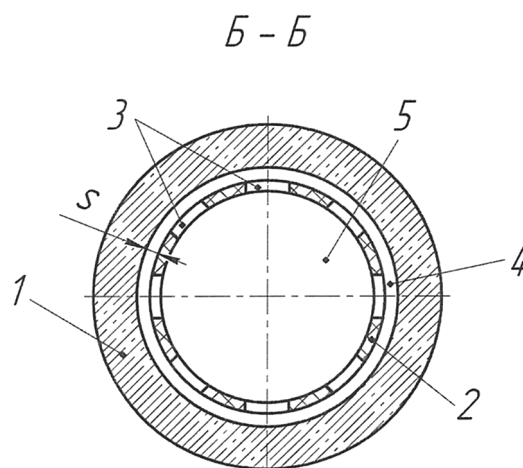
ской сваи) и разности температур. При этом благодаря невысоким аэродинамическим потерям представленная энергетическая свая обладает повышенной тепловой эффективностью по сравнению с прототипом.

Описанная конструкция энергетической сваи может быть использована также в системах, где необходимо компенсировать температурные колебания воздуха (например, тепличные хозяйства); в зданиях предприятий, которые являются потребителями холода (например, молочные фермы, перерабатывающие предприятия); в помещениях с оборудованием, энергетическая эффективность и надежность работы которых увеличивается с уменьшением температуры в помещении (например, трансформаторные подстанции); в помещениях с большими теплопритоками (офисные здания с большой площадью остекления и значительным теплопритоком от солнечного излучения и офисного оборудования). Описанная конструкция энергетической сваи с воздушным теплоносителем может быть также использована для подогрева приточного воздуха в отопительный период, когда температура атмосферного воздуха значительно ниже температуры грунта. При этом для отопления здания будет затрачиваться меньше тепловой энергии благодаря снижению тепловых вентиляционных потерь.

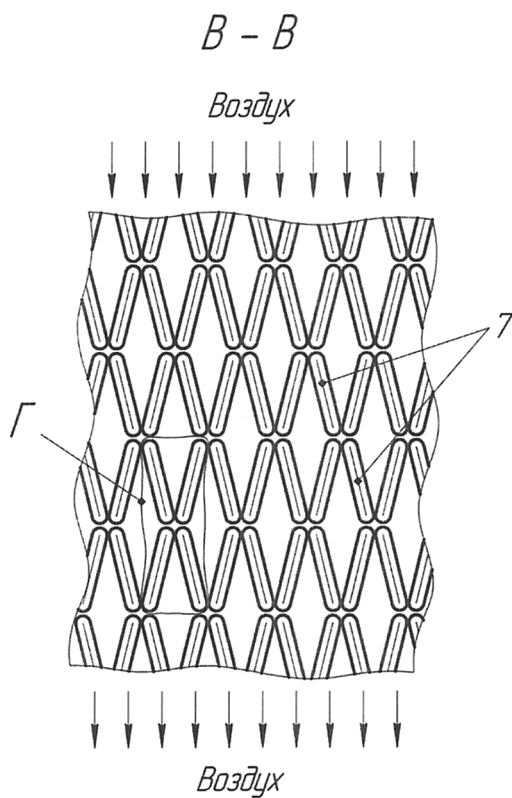
Также в холодный период года атмосферный воздух, подогретый в энергетической свае, может быть направлен в испаритель теплового насоса типа воздух-вода или воздух-воздух. Для этого случая в тепловом насосе будут достигнуты большие коэффициенты трансформации благодаря тому, что температурный потенциал воздуха после воздушной энергосваи больше, чем температурный потенциал атмосферного воздуха, традиционно подаваемого в испаритель теплового насоса типа воздух-воздух или воздух-вода. При совместной работе с тепловым насосом воздушная энергетическая свая может быть также соединена с испарителем теплового насоса замкнутым воздушным контуром.



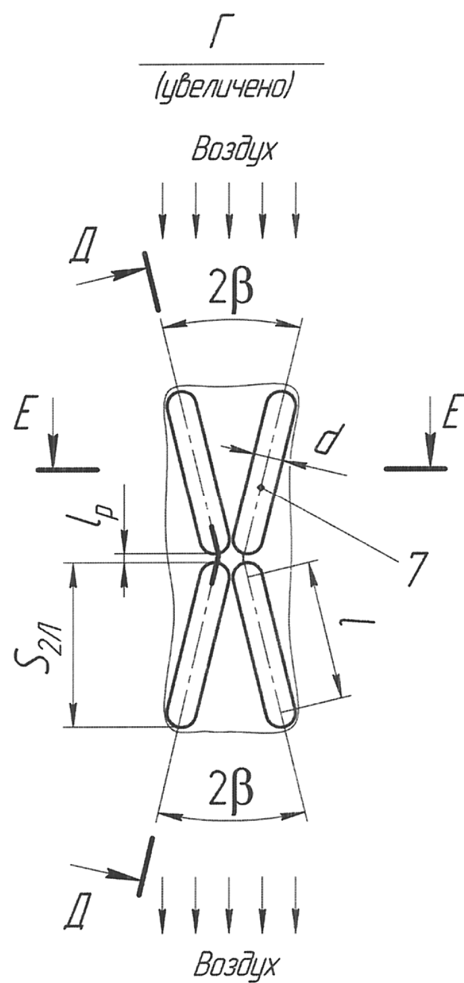
Фиг. 2



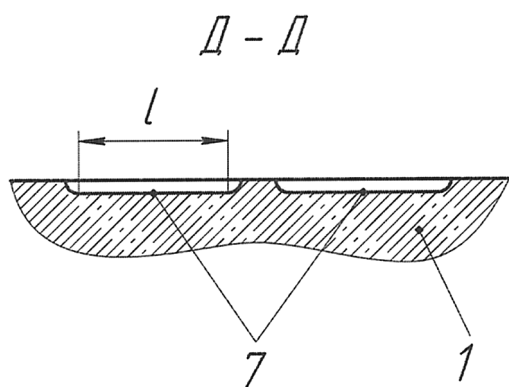
Фиг. 3



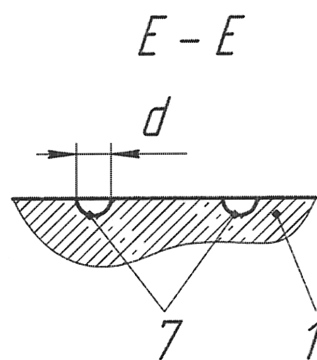
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7